

物理学史中的一月



1925年1月：泡利宣布了不相容原理

(译自 *APS News*, 2007年1月)

萧如珀 杨信男 译

1925年对于量子物理学来说是很重要的一年，这一年从泡利(Wolfgang Pauli)在1月宣布了不相容原理开始。这个著名的原理说明了两个完全相同的费米子不可能处在相同的量子状态，首次提供了元素周期表结构的理论基础。

泡利于1900年出生在维也纳，同年量子力学也因普朗克宣布了能量量子的概念而诞生。泡利的父亲是一位医生，也是维也纳大学的化学教授，他的教父是Ernest Mach(译者注：奥地利-捷克大物理学家和哲学家，1838~1916)。泡利自幼即是一位天才，当上课厌烦时，他会阅读爱因斯坦有关相对论的论文。当他20岁，还是慕尼黑大学Arnold Sommerfeld(知名理论物理学家)的学生时，就曾发表有关相对论的论文，还在百科全书中写了介绍相对论的文章，这让其他的物理学家，包括爱因斯坦本人都大为震惊。在研读过古典力学和相对论后，泡利因Sommerfeld介绍他读量子力学而感到不安，因一开始他发现这题材让他很困惑。

也许因为泡利很聪明，所以他的教授和同事们都很包容他一些令人厌烦的习性，例如他总是睡得很晚，中午以前不去上课；他又极端会批判，出了名的会嘲讽其他同事没条理的研究是“连错都谈不上”。他爱挑剔的个性经常让人忙着澄清自己的想法；此外，他还很会制造事端，因此科学家相信只要让他接近实验室，实验就注定会失败。

泡利在1921年获得博士学位后，先到Goettingen，之后又到哥本哈根，1923年到汉堡大学任职。他第一节课就上元素的周期表，但因当时尚不了解原子壳的结构，所以他很不满意。1913年，



Wolfgang Pauli

玻尔主张电子只可能占用某些量子化的轨道，但又似乎找不到一个原子中的所有电子为什么不都挤到一个最低能量状态中的理由。就这样对于周期表的结构没有令人信服的解释，加上泡利才刚着手试图去解释异常的塞曼效应(Zeeman effect, 电子自旋的结果)，使他深信两个问题应该有些关联才对。

1924年末，泡利做了一大突破，他提出了在当时用来解释电子量子状态的三个量子数外，再加入第四个量子数的看法。前三个量子数在

物理上有意义，因为它们和围绕原子核的电子运动有关，泡利说他的新量子特性为一个“古典无法解释的双值性”。在提出此主张后不久，泡利立即意会到此看法可能对封闭轨道的问题找到答案了。之后在1925年1月，泡利宣布了不相容原理，说明在一个原子中没有两个电子能处于和四个量子数都完全相同的状态中，每一个电子都必须处于自己独特的状态，不能有其他的可能性。

泡利提出第四个量子数的看法困扰着当时的物理学家，因为没有人能解释它的物理意义，就连泡利本人也很困惑。泡利还因他无法提出不相容原理的合理解释，也无法从量子力学的其他法则中推导出此原理而深感烦恼，所以他为此问题而闷闷不乐。然而，此原理却行得通，它解释了周期表的结构，且还必须用它来解释物质的其他特性。

此后，也在1925年，Samuel Goudsmit和George Uhlenbeck受到泡利研究的激励，解释了第四个量子数为电子的自旋。泡利起先应用不相容原理来解释原子中的电子，但后来又延用到有半整数自旋的任何费米子系统，但不包括自旋为整数的玻色子。

在泡利宣布他的不相容原理后的两年间，新的量子力学迅速崛起，Heisenberg 提出了矩阵力学的表述，而 Schrödinger 也基于 de Broglie 主张物质有波动性质的想法，提出了波动力学。

泡利于 1928 年搬到瑞士苏黎世，在第二次世界大战期间他住在美国，战争结束后又回到苏黎世。1931 年，泡利提出了一个新粒子——中微子存在的主张，以解决在 β 衰变中能量不灭所缺少的一部分。在做了许多研究有成后，他将往后大部分的岁月用来思考科学的历史与哲学。

泡利总是强调对于一个现象要做清楚、有条理

的解释，他也总是努力地同时找出对实验的直觉理解与其严谨的数学结构。Max Born（译者注：德国物理学家，1954 年获得诺贝尔奖）曾如此评论他说：“我知道他是一位天才，只有爱因斯坦能比。但他是一个完全不同典型的人，在我眼中，他不及爱因斯坦伟大。”1945 年，泡利因不相容原理的发现而获得诺贝尔奖，1958 年离开人世。

（本文转载自 2009 年 2 月《物理双月刊》，网址：<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>；萧如珀，自由业；杨信男，台湾大学物理系，Email: snyang@phys.ntu.edu.tw）



封二照片说明：

去年 9 月在俄罗斯普列谢茨克发射场“重力场和静态洋流探测”卫星由“轰鸣号”运载火箭送入太空，这是地球探测器家族系列发射的首枚卫星，它的主要任务是测量地球重力场，并提供大地水准面模型。卫星长 5.3 米，横截面积 1.1 米²，质量 1000 千克，其结构主要由碳纤维塑料合成，以保证卫星的稳定性，同时也降低其质量。卫星主体表面装有 4 块太阳能电池板，另在两侧装有 2 块太阳能电池板，还安装了一架 S 频段通信天线，2 架 GPS 天线。卫星装载的主要科研设备有“静电重力梯度仪”主要是生成全球重力梯度模型及作为姿态和轨道控制的主传感器。“卫·卫跟踪仪”是在低轨环境下的 GPS 接受器，还可同时跟踪 12 颗 GPS 卫星，它能获得重力场的长波长频谱数据，还能提供卫星位置及速度的实时数据，用来调整控制卫星。为了减少卫星在飞行时的空气阻力，太阳光压及地球反照压等因素的影响，卫星还采用了离子推进技术的阻力补偿和姿态控制系统，使卫星维持其在 250 千米的轨道上。卫星还装有一台棱镜激光反射器，可利用卫星激光测距技术来测定地球上多个地面工作站间的精确距离，从而确定卫星轨道位置。其应用领域包括：确定全波段地球重力场和高精度大地水准面；研究海洋环流；研究地壳、地幔和地核，预测地震。人们期待着这颗称为“空中牛顿”的探测卫星给人们带来喜讯。

（青果/供稿）



科苑快讯

地球磁层将现裂缝 太阳风暴乘机袭来

2007 年 6 月，美国发射的 THEMIS 卫星组就发现太阳喷射的带电粒子湍流凶猛涌入磁层裂缝，速度高达每小时 160 万千米，裂缝维持了一个多小时。这些高能粒子引起的磁暴，增加电网损耗、影响通讯，甚至导致电网瘫痪、供电中断，严重损毁卫星设备。磁层是地球周围的一个泡状磁场，它保护地球上的一切免受太阳风的侵袭。当地球和太阳磁场方向相反时，磁层就会出现裂缝，大量太阳风粒子乘虚而入，数量将超过平时的 20 倍。

太阳风暴多数发生于太阳活动周期的中期和末尾，以末尾最为严重，而现在正处于相对低潮的中期，2012 年将发生特大太阳风暴。美国新罕布什尔大学（University of New Hampshire）物理学家雷德（Jimmy Raeder）说：“届时将面临前所未有的威胁……因为我们在宇宙空间的东西越来越多。”

（高凌云编译自 2008 年 12 月 17 日 www.sciencedaily.com）

